

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FERNANDO ARAUJO RUTZ

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA OPERANDO COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA
DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

CURITIBA

2022

FERNANDO ARAUJO RUTZ

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DA GERAÇÃO DE
ENERGIA EÓLICA OPERANDO COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA
DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Geração Distribuída, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética e Geração Distribuída.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki

Coorientador: Prof. Dr. Mateus Duarte Teixeira

CURITIBA

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA -
40001016317E1

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Monografia de Especialização de FERNANDO ARAUJO RUTZ intitulada: AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA OPERANDO COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de especialista está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 19 de fevereiro de 2022.

Alexandre Rasi Aoki

Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dr. Alexandre Rasi Aoki

PROFESSOR DO DEPTO DE ENG. ELÉTRICA

Matrícula UFPR 200437

Janio Denis Gabriel

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Cidade, 19 de fevereiro de 2022.

Dedico este trabalho a Deus e a minha família por sempre estarem presentes em minha vida. Dedico em especial a minha esposa Leticia por estar sempre ao meu lado, enfrentando todos os desafios, me erguendo nos momentos de queda e brindando nossas conquistas. Minhas filhas Bianca e Lara que trouxeram luz e alegria à nossa família e hoje são inspiração para ir sempre mais longe.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os docentes envolvidos nesse programa de pós-graduação da Universidade Federal do Paraná, por não pouparem esforços para que o conhecimento fosse transferido, mesmo em época de pandemia com grandes restrições. Agradeço ainda ao meu orientador Professor Doutor Alexandre Rasi Aoki e ao coorientador Professor Doutor Mateus Duarte Texeira, por todo conhecimento tempo e dedicação compartilhada durante as aulas e a execução deste trabalho.

RESUMO

A geração distribuída no Brasil e no mundo está em forte crescimento, essa solução permite ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e, caso haja um excedente, esse poderá ser direcionada para a rede de distribuição para posterior compensação. De forma incontestável a geração fotovoltaica domina esse mercado, com aproximadamente 90% do *market share* brasileiro. Atualmente o mercado mundial de turbinas eólicas vem desenvolvendo modelos de turbinas para atuar nas mais diversas condições ambientais, inclusive em locais com baixa incidência de ventos, essas turbinas são denominadas *Low Wind Turbines*. O presente trabalho tem como objetivo principal contribuir para viabilização de usinas eólicas na geração de energia elétrica na geração distribuída no âmbito do sistema de compensação de energia. Para isso foi realizada a avaliação da viabilidade técnica e financeira utilizando uma turbina de 250kW, operando em geração distribuída, a 50 metros de altura, no interior do Paraná, com vento médio anual de 6,35 m/s considerando os custos de implantação. Após foi feita análise de sensibilidade alterando diversos parâmetros e comparando o retorno financeiro da solução eólica com a geração fotovoltaica. Os resultados apontam que a usina eólica a partir de 50 metros apresenta viabilidade técnico-financeira compatíveis com as atuais soluções do mercado com retorno financeiro em sete anos.

Palavras-chave: Turbinas eólicas *low wind*, fontes de energia renovável; geração distribuída.

ABSTRACT

The distributed generation is deeply growing in Brazil and in the world. This solution allows the Brazilian consumer to generate their own electricity from renewable sources and, if there is a surplus, it can be directed to the distribution network for later compensation. Undoubtedly, photovoltaic generation dominates this market with approximately 90% of the Brazilian market share. Currently the world wind turbine market comes from turbine models designed to operate in the most diverse conditions, including places with low winds, these turbines are called low wind turbines. The main objective of this work is to contribute to the feasibility of wind farms in electric generation in distributed generation within the scope of the energy compensation system. For this, a technical and financial feasibility assessment was carried out using a 250kW turbine, operating in distributed generation, at 50 meters high, in the interior of Paraná, with an average annual wind of 6.35 years / considering the implementation costs. After that, a sensitivity analysis was performed, changing several financial parameters and comparing the return solution with the photovoltaic generation. The results show that the wind farm from 5 meters has technical and financial feasibility with financial return as in seven market solutions.

Keywords: Low wind turbines, renewable energy sources; distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 - FAZENDA SOLAR..... | 14 |
| FIGURA 2 - FAZENDA EÓLICA..... | 15 |
| FIGURA 3 - SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA | 16 |
| FIGURA 4 - CLASSES DE TURBINAS EÓLICAS..... | 18 |
| FIGURA 5 - CURVA DE POTÊNCIA..... | 19 |
| FIGURA 6 - PREÇO PROJETO FOTOVOLTAICOS..... | 23 |
| FIGURA 7 - CICLO DO PLANTIO E COLHEITA DE SOJA NO PR. | 24 |
| FIGURA 8 - VENTOS POR FAIXA DE ALTURA..... | 26 |
| FIGURA 9 - PRODUÇÃO DE ENERGIA ANUAL | 27 |
| FIGURA 10 - TARIFA COPEL..... | 29 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| GRÁFICO 1 - AMOSTRA POR FAIXA DE CUSTO DO TERRENO | 26 |
| GRÁFICO 2 - FLUXO DE CAIXA EÓLICO 50m..... | 31 |
| GRÁFICO 3 - REMUNERAÇÃO EÓLICO 50m | 31 |
| GRAFICO 4 – FLUXO DE CAIXA EÓLICA 80m | 34 |
| GRÁFICO 5 - REMUNERAÇÃO EÓLICA 80m..... | 34 |
| GRÁFICO 6 - FLUXO DE CAIXA FOTOVOTAICO | 37 |
| GRÁFICO 7 - REMUNERÇÃO FOTOVOTAICO | 37 |
| GRÁFICO 8 - FLUXO DE CAIXA EÓLICA 80m X FOTOVOTAICO | 38 |
| GRAFICO 9 – COMPARAÇÃO DE REMUNERAÇÃO DOS PROJETOS | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------|----|
| TABELA 1 - GERAÇÃO EÓLICA | 28 |
| TABELA 2 - CUSTOS REAIS/M ² | 28 |
| TABELA 3 - CUSTOS INSTALAÇÃO | 28 |
| TABELA 4 - FLUXO DE CAIXA..... | 30 |
| TABELA 5 - GERAÇÃO EÓLICA 80m | 32 |
| TABELA 6 - CUSTO INSTALAÇÃO AEROGERADOR 80m | 32 |
| TABELA 7 - FLUXO DE CAIXA EÓLICA A 80m | 33 |
| TABELA 8 – DADOS DE GERAÇÃO SOLAR..... | 35 |
| TABELA 9 - CUSTO INSTALAÇÃO PLANTA SOLAR | 35 |
| TABELA 10 – FLUXO DE CAIXA FOTOVOLTAICO | 36 |

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

| | |
|--------------------------|----------------------------------------------|
| GW | – Gigawatt. |
| kg/ha | – Quilograma por hectare. |
| kW | – Quilowatt. |
| kW/h | – Quilowatt por hora. |
| kWp | – Quilo Watt pico. |
| kW.h/m ² .dia | – QuiloWatt hora por metro quadrado por dia. |
| m | – Metros. |
| m ² | – Metros quadrados. |
| m/s | – Metros por segundo. |
| MW | – Megawatt. |
| nº | – Número. |
| ONU | – Organização das Nações Unidas. |
| R\$ | – Reais. |
| R\$ | - Reais por Quilowatt pico. |
| W | – Watt. |

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS | 13 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 DA ANEEL | 16 |
| 2.2 TURBINAS EÓLICAS <i>LOW WIND</i> | 17 |
| 2.3 REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 22 |
| 3.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO DA ARTE E CUSTOS DA GERAÇÃO EÓLICA | 22 |
| 3.2 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO | 22 |
| 3.2.1 PARÂMETROS DE VENTO | 22 |
| 3.2.2 O LOCAL DE INSTALAÇÃO | 23 |
| 3.3 ENERGIA SOLAR | 23 |
| 3.4 A PERDA DE EFICIÊNCIA DO TERRENO | 23 |
| 3.5 CRIAÇÃO DO CENÁRIO | 24 |
| 3.6 PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA..... | 25 |
| 3.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE | 25 |
| 4 RESULTADOS | 26 |
| 4.1 PARÂMETROS DE VENTO | 26 |
| 4.2 O LOCAL DE INSTALAÇÃO | 26 |
| 4.3 PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA EÓLICA..... | 27 |
| 4.4 ANÁLISE DO CENÁRIO..... | 27 |
| 4.4.1 GERAÇÃO EÓLICA | 27 |
| 4.5 O CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA | 29 |
| 4.6 ANÁLISE FINANCEIRA..... | 29 |
| 4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE | 31 |
| 4.7.1 EÓLICA COM 80m | 31 |
| 4.7.2 PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA SOLAR..... | 34 |
| 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS | 39 |
| REFERÊNCIAS | 40 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

A possibilidade de gerar energia próximo à carga atrai cada vez mais consumidores em busca da redução do custo de energia e abre espaço para a geração através de fontes renováveis. Segundo a ANEEL (2021) o Brasil aproxima-se da marca de 6 GW em geração distribuída, e para melhor normatizar esse processo de geração de energia foi publicada a resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 a qual determina que o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e, caso haja um excedente, esse poderá ser direcionada para a rede de distribuição.

Atualmente, há diversas opções de geração renováveis disponíveis, porém, as principais são: a fotovoltaica, a eólica, a hidrelétrica e a biomassa. É fato que aproximadamente 90% da geração distribuída é realizada por fontes fotovoltaicas (EPE, 2021), sendo essas encontradas em pequenas usinas instaladas em telhados e terrenos por todo o país.

A fonte eólica cresce a cada ano e tem papel de destaque nas matrizes energéticas de diversos países incluindo o Brasil. Porém, na geração distribuída nacional a tecnologia eólica ainda apresenta resultados pífios englobando menos de 0,3% do mercado (ANEEL, 2021). Muito se tem trabalhado no desenvolvimento e expansão do mercado de turbinas eólica e atualmente é possível encontrar equipamentos dimensionados para operar desde ventos severos até ventos de baixa intensidades.

No Brasil o agronegócio é pujante, a produção cresce ano após ano e segundo o boletim de 10 de março de 2021 da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o agronegócio movimentou aproximadamente 1,98 trilhões de reais sendo responsável 26,6% do PIB nacional. Segundo a ONU, em 2050, para alimentar a população mundial estimada em 9,6 bilhões de pessoas, será necessário produzir cerca de 70% mais alimentos do que foi produzido em 2016 (FAO,2016). As políticas ambientais cada vez mais restritivas e a necessidade de aumentar a produção agropecuária fazem com que a disponibilidade da terra produtiva seja cada vez mais escassa e por sua vez os seus custos sigam uma forte

tendencia de alta. Dessa forma, é fundamental que a toda área agrícola disponível seja destinada produção de alimentos.

Em 2018 o setor agropecuário foi responsável por 5,5% do consumo de energia elétrica no Brasil (Balanço Energético Nacional, 2018). Nesse sentido a geração distribuída no regime de compensação, é muito interessante para alimentar as propriedades rurais e as cooperativas agrícolas instaladas no país. Entretanto, utilizar a tecnologia fotovoltaicas pode tornar a operação menos eficiente por deixar grandes áreas improdutivas devido à grande área demandada para instalação dos painéis. Dessa forma, formulou-se a hipótese da utilização de geradores eólicos em locais rurais com alto valor latifundiário buscando assim, maior viabilidade técnico-econômica em relação a solução solar.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral do presente trabalho é contribuir para viabilização de usinas eólicas na geração de energia elétrica na geração distribuída no âmbito do sistema de compensação de energia.

Como objetivos específicos tem-se:

- Avaliar o estado da arte e custos da geração eólica;
- Definir o local de instalação e as condições ambientais;
- Criar um cenário com turbina eólica;
- Realizar uma análise de sensibilidade dentro do cenário proposto e comparar com a solução fotovoltaica; e
- Analisar a viabilidade técnico-econômica da geração eólica como geração distribuída no âmbito do sistema de compensação de energia elétrica.

1.3 JUSTIFICATIVA

Diversas opções de geração renováveis estão disponíveis e dentre elas destacam-se a fotovoltaica, eólica e biomassa. Cada uma dessas fontes apresenta grande especificidades de geração tornando necessária uma análise aprofundada para que se escolha a fonte com a melhor relação entre o custo de implantação e maior capacidade de geração.

A geração fotovoltaica assumiu grande destaque e é comum encontrar-se pequenas usinas instaladas sobre telhados e terrenos, porém em locais onde o custo da terra é alto e o vento frequente a solução eólica apresenta-se como uma solução interessante.

Atualmente o mercado de geração eólica disponibiliza diversas soluções focadas em atender as mais diversas condições ambientais e necessidade de geração. Utilizando turbinas que operam em regimes de baixo vento, em regiões produtivas do Paraná e com alto custo de oportunidade de exploração do terreno, torna-se relevante estudo de viabilidade de uma solução eólica, pois é necessário menor área de instalação e possui maior eficiência de geração. A FIGURA 1 mostra uma propriedade rural com geração fotovoltaica. Nota-se a área relevante que deixou de ser de produção agrícola para receber os painéis.

FIGURA 1 - FAZENDA SOLAR



FONTE: www.bryds.com.br (2022).

A FIGURA 2, demonstra a geração eólica no meio rural, onde a área demandada para geração eólica é restrita apenas ao diâmetro da torre que suporta o aerogerador.

FIGURA 2 - FAZENDA EÓLICA



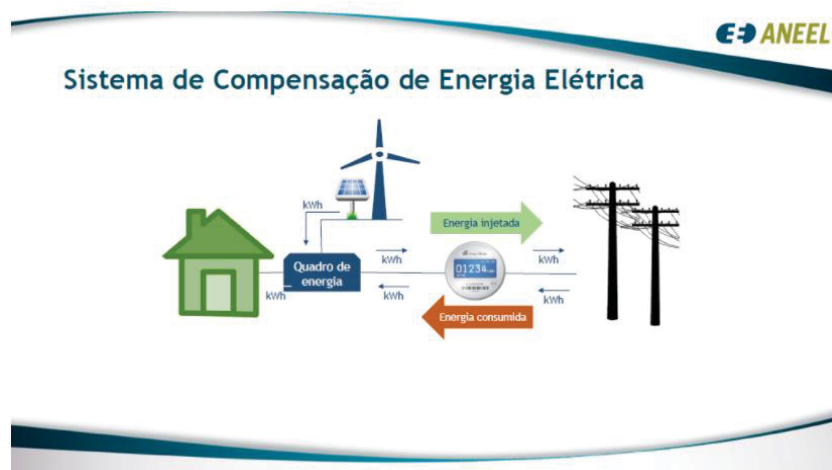
FONTE: <https://www.enelgreenpower.com/pt/paises/america-do-norte/estados-unidos/proprietarios-de-terras> (2022).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012 DA ANEEL

A Resolução nº 482/2012 estabelece as condições gerais de acesso e operação para que uma unidade consumidora passe a gerar sua própria energia e possibilita que o excesso de energia produzida possa ser injetado na rede de distribuição da concessionária. Assim, a unidade consumidora cede energia por meio de um empréstimo gratuito à distribuidora local, e, posteriormente quando houver consumo por parte da unidade consumidora derivado da rede de distribuição este poderá ser compensado com a energia anteriormente emprestada (FIGURA 3).

FIGURA 3 - SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA



FONTE: ANEEL

A Resolução 482/2012 classifica as unidades geradoras em 2 grupos. O primeiro grupo, chamadas de microgeração, engloba unidades geradoras de energia elétrica com potência máxima instalada até 75 kW. O segundo, classificados como minigeração, abrange unidades com potência instalada entre 75kW e 5MW.

Para ser enquadrado como micro ou minigeradora é necessário atender em alguma das categorias a seguir:

- Autoconsumo local: todo consumo e geração de energia refere-se a uma única unidade consumidora que gera e compensa a energia no mesmo local físico;
- Autoconsumo remoto: uma pessoa física ou jurídica, através de uma unidade consumidora com micro ou minigeração, pode gerar crédito

de energia para outras unidades consumidoras de mesma titularidade em diferentes locais, porém dentro de uma mesma área de concessão.

- Empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras: condomínios, unidades com múltiplas unidades consumidoras, se organizem para criar uma unidade de geração através da unidade consumidora de responsabilidade do condomínio, a energia gerada é rateada entre os condôminos de acordo com as porcentagens definidas pelos mesmos, para caracterizar como empreendimento de múltiplas unidades consumidoras é necessário que estas unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas sem separação de vias ou áreas públicas.
- Geração compartilhada: consumidores compostos por pessoas físicas ou jurídicas de uma mesma área de concessão, se unem em forma de cooperativas ou consórcios para gerar energia através de uma unidade consumidora e compensar o excedente de energia através de outras unidades consumidoras dos membros do consórcio ou cooperativa.

Todas as regras de acesso aos sistemas de distribuição estão nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.

2.2 TURBINAS EÓLICAS *LOW WIND*

As turbinas eólicas são dispositivos capazes de transformar a energia cinética dos ventos em energia mecânica e então em energia elétrica.

A energia gerada por uma turbina eólica está diretamente ligada a área do rotor e ao cubo da velocidade do vento, é devido a esta característica as turbinas são instaladas a alturas cada vez maiores e o diâmetro dos rotores para captação dos ventos também cada vez maior.

As turbinas de geração eólicas podem ser classificadas de acordo com o eixo de geração (como vertical ou horizontal), em função do número de pás, em relação a classe de potência gerada ou de acordo com a classe de ventos para a qual foi dimensionada. Nesse sentido, as turbinas classe I se referem as projetadas

para locais de ventos de alta velocidade; as turbinas classe II e III são indicadas para locais com ventos moderados e a classe IV são recomendadas para locais de ventos com baixa velocidade, estas últimas são as chamadas de *Low Wind Turbines*. Há ainda a Classe S, que o fabricante da turbina desenvolve um projeto especial específico para atender uma região.

A FIGURA 4 mostra como a norma IEC61400-1 classifica as turbinas:

FIGURA 4 - CLASSES DE TURBINAS EÓLICAS

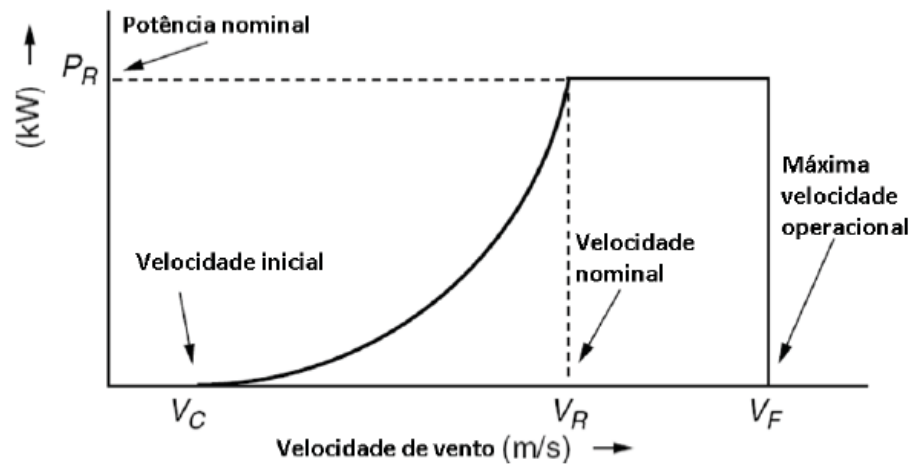
■ IEC61400-1 Wind Turbine Classes

| WIND TURBINE CLASS | | I | II | III | IV | S |
|--------------------------------------------|-----------------|------|------|------|------|---------------------------|
| Reference wind speed | V_{ref} [m/s] | 50 | 42,5 | 37,5 | 30 | Specified by the designer |
| Annual average wind speed (0.2 V_{ref}) | V_{ave} [m/s] | 10 | 8,5 | 7,5 | 6 | |
| 1-year return gust speed (1.05 V_{ref}) | V_{e1} [m/s] | 52,5 | 44,6 | 39,4 | 31,5 | |
| 50-year return gust speed (1.4 V_{ref}) | V_{e50} [m/s] | 70 | 59,5 | 52,5 | 42 | |
| Turbulence Category | A I_{ref} [-] | 0,16 | | | | |
| | B I_{ref} [-] | 0,14 | | | | |
| | C I_{ref} [-] | 0,12 | | | | |

FONTE: IEC61400-1

As características de operação de uma turbina eólica são definidas por sua curva de potência (FIGURA 5). O parâmetro de velocidade inicial (VC), conhecido como *Cut-in*, indica a velocidade mínima para que a turbina comesse a gerar energia, normalmente essa velocidade corresponde a cerca de 60% do vento da velocidade média do local de instalação. A velocidade nominal (VR) indica a velocidade de referência da turbina, mostrando a velocidade de vento em que a turbina atinge a potência especificada. O parâmetro da máxima velocidade operacional (VF), conhecido como *Cut-off*, indica velocidade máxima de vento antes que o sistema entre em “estolamento” (entrar em estado *stall*), tornando nula a potência de saída.

FIGURA 5 - CURVA DE POTÊNCIA



FONTE: SILVA S.R., Tecnologia em Aerogeradores, Belo Horizonte, 2013.

2.3 REVISÃO DE LITERATURA

A GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA

Alanne e Saari (2006) publicaram um artigo sobre a geração de energia distribuída e desenvolvimento sustentável no qual realizou uma análise política, econômica, social e tecnológica. Afirmam que as usinas de energia têm sido unidades grandes e centralizadas e que uma nova tendência está se desenvolvendo em direção à geração distribuída de energia, ou seja, grandes usinas elétricas serão substituídas por diversas usinas menores e dispersas, fazendo com que as unidades de geração e conversão fiquem próximas a carga. Concluem ainda que a geração de energia distribuída é confiável e eficiente, além de ser na maioria das vezes alimentada por fontes de energia renováveis, trazendo uma excelente oportunidade de desenvolvimento sustentável.

Keane (2007) publicou sua tese de doutorado sobre a integração da geração distribuída. Nessa ele afirma que os recursos cada vez menores de combustíveis fósseis estão levando a busca para as energias renováveis. À medida que novas formas de energia se conectam, uma das principais mudanças que está sendo vista nos sistemas de energia em todo o mundo é o aumento da proliferação do que é conhecido como geração distribuída. A geração distribuída pode assumir a forma de geração renovável ou de uma unidade convencional de pequena escala. Afirma que

há uma diferença de ênfase na geração distribuída entre a Europa e América do Norte (EUA), sendo que os EUA propõem meios sustentáveis e competitivos de geração de energia, porém não apenas restritos às energias renováveis. A geração distribuída é encarada como parte significativa da solução para melhorar segurança e confiabilidade de abastecimento. Um dos principais desafios para sua implementação é a conexão de níveis significativos de geração para a rede de distribuição. Conclui assim que essa nova operação está forçando uma adequação de como o sistema de distribuição é planejado e operado.

DESENVOLVIMENTO DAS TURBINAS EÓLICAS.

González e Arántegui (2016) afirmam que a tecnologia dos geradores eólicos evoluiu nos últimos anos com forte tendência de se utilizar máquinas cada vez maiores, com consequentes pás e torres cada vez maiores. Ressaltam que o desenvolvimento da tecnologia eólica não está focado apenas em escalonar o processo, mas também buscar desenvolver ideias inovadoras que impactem na redução de custos e no melhor aproveitamento dos recursos naturais. Locais com ventos de baixos intensidade normalmente utilizam turbina com rotores de grande diâmetro, torres mais altas e geradores com potência nominal menor. Em relação aos custos, os investimentos em torres mais altas e rotores maiores são compensados por geradores elétricos e conversores menores, tornando a solução eólica competitiva mesmo em locais de ventos de baixa intensidade. Assim concluem que há cada vez mais interesse, entre os principais fabricantes de turbinas, em desenvolver turbinas *Low Wind*.

A GERAÇÃO DISTRUBUÍDA EM AMBIENTES RURAIS

Reisser et al. (2018) afirma em seu livro que a geração distribuída traz ao mercado de agronegócio a oportunidade de melhorar a qualidade da energia além de um novo negócio: produção de energia, gerando empregos e renda no meio rural. Apesar de trazer inúmeros benefícios ao setor agropecuário, apenas 0,3% das propriedades rurais da região sul do Brasil com acesso à energia elétrica gerou sua própria energia em 2009. Também destaca que as principais barreiras para geração eólica são os elevados custos dos equipamentos, do transporte, do reduzido número

de fabricantes locais e a dificuldade de mão de obra qualificada para instalação e manutenção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 AVALIAÇÃO DO ESTADO DA ARTE E CUSTOS DA GERAÇÃO EÓLICA

Para avaliar o estado de arte e o custo da geração eólica foram realizadas pesquisas através do Google Scholar com as seguintes palavras-chave: *low wind turbines; renewable energy sources; real state* e *cost*. Além disto foram avaliados, através dos sites próprios, os *datasheets* dos principais fabricantes mundiais de turbinas eólicas.

A turbina escolhida para ser feita a avaliação da capacidade de geração foi a italiana REN-Electron de 250kW. Essa apresentou a maior capacidade de geração nominal quando a operação ocorre a um vento médio de aproximadamente 6,5m/s.

Os custos de equipamentos, obras civis e instalação foram conseguidos através de cotações solicitadas ao fabricante dos equipamentos e prestadores de serviço.

3.2 DEFINIÇÃO DO LOCAL DE INSTALAÇÃO

A escolha do local para a realização dos estudos foi baseada em: incidência de ventos e valor latifundiário.

3.2.1 PARÂMETROS DE VENTO

Os dados técnicos sobre a característica ambiental de vento foram obtidos através de pesquisa no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (CEPEL, 2013).

Para se obter um parâmetro de vento foi selecionada a localização onde existe a maior média de velocidade de vento anual concomitante com densa produção agrícola. Após, foi verificada a velocidade do vento em alturas crescentes: 30m, 50m, 80m, 100m, 120m, 150m, 200m. Foi selecionada a altura de 50 metros para análise de custo pois é altura média indicada pelo fabricante da turbina e nessa altura a geração de energia se faz relevante.

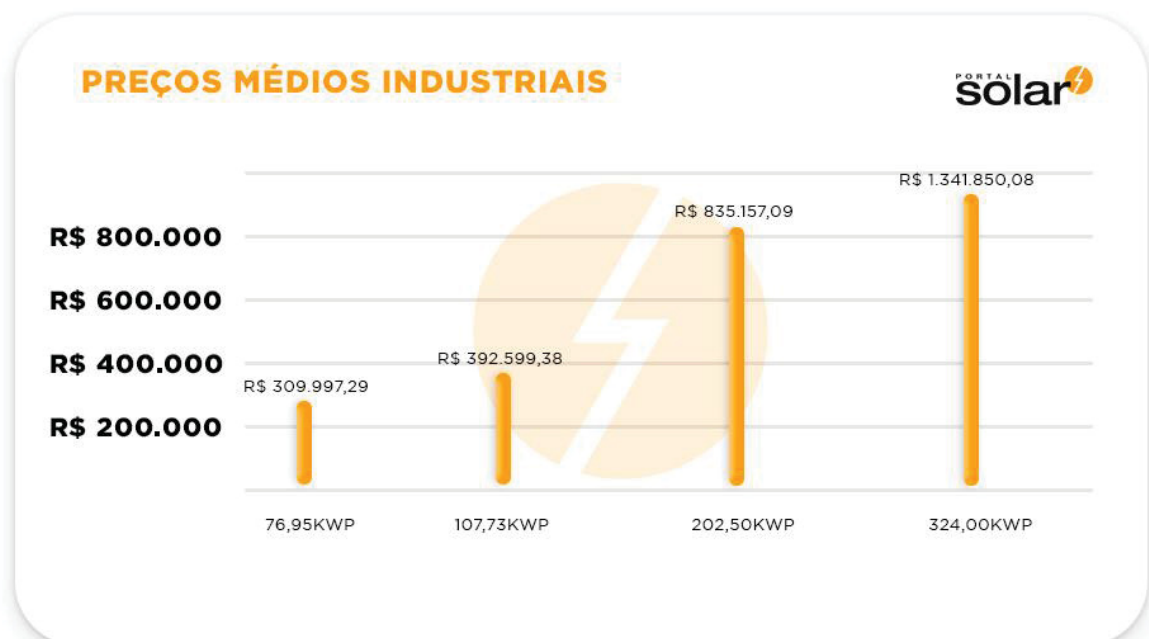
3.2.2 O LOCAL DE INSTALAÇÃO

Foi considerado utilizar terras altamente produtivas no interior do Paraná. O valor do terreno foi obtido através de pesquisas em sites imobiliários. Os terrenos serão agrupados de acordo com seu valor em R\$/m². Será utilizado para os cálculos de custo o grupo que possuir maior quantidade de terrenos.

3.3 ENERGIA SOLAR

Os dados técnicos sobre das características ambientais solar foram obtidos através de pesquisa no Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2013). Para referência do custo por R\$/kWp foi realizado pesquisa em sites do setor e utilizado como referência o valor de R\$4.000,00 por kWp.

FIGURA 6 - PREÇO PROJETO FOTOVOLTAICOS



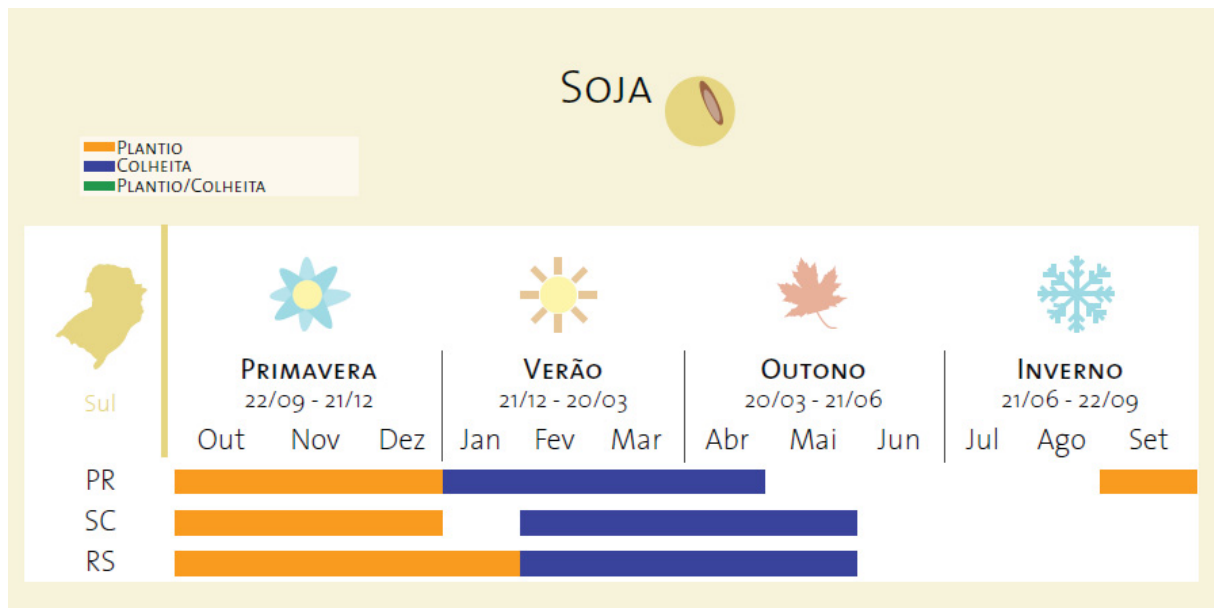
FONTE: <https://www.portalsolar.com.br/painel-solar-precos-custos-de-instalacao.html> (2021)

3.4 A PERDA DE EFICIÊNCIA DO TERRENO

Segundo a *United States Department of Agriculture* (USDA, 2021) o Brasil é o maior produtor de soja mundial com uma produção de 362.947 milhões de

toneladas produzidas em uma área de 127.842 milhões de hectares. O Paraná figura-se um dos principais produtores nacionais. Segundo a Conab o ciclo da soja no Paraná inicia-se com o plantio no início de setembro e a colheita é feita entre janeiro e março, ou seja, uma safra por ano.

FIGURA 7 - CICLO DO PLANTIO E COLHEITA DE SOJA NO PR.



FONTE: Conab (2019)

E ainda segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2021) a produtividade de soja no estado é de 3.537kg/ha. A soja é comercializada em sacas, sendo que uma saca possui 60kg de soja. Segundo site da *Farmnews* (2021) O custo médio da saca de soja em setembro de 2021 foi de R\$172.70

3.5 CRIAÇÃO DO CENÁRIO

A criação do cenário de geração eólica foi feita considerando a turbina escolhida anteriormente, o custo do local de instalação, o vento local. O Cenário de instalação considerou a instalação do gerador a cinquenta metros de altura e ventos médios de 6,35m/s.

3.6 PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA

A análise de produção energética foi avaliada considerando o período de um ano. Os dados de produção anual foram obtidos no através da especificação técnica da turbina.

3.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade foi feita para avaliar o retorno do projeto eólica caso o gerador fosse instalado a na altura de 80 metros, nessa condição a um acréscimo na velocidade do vento em aproximadamente 14,5%. Ainda se considera que os equipamentos serão instalados no terreno de maior valor encontrado, ou seja, a R\$/m² 140,00.

Por fim, ainda foi feita uma comparação da solução eólica com a solar, onde essa seria impactada mais fortemente pelo custo do terreno. Avaliando o *payback* entra as duas soluções.

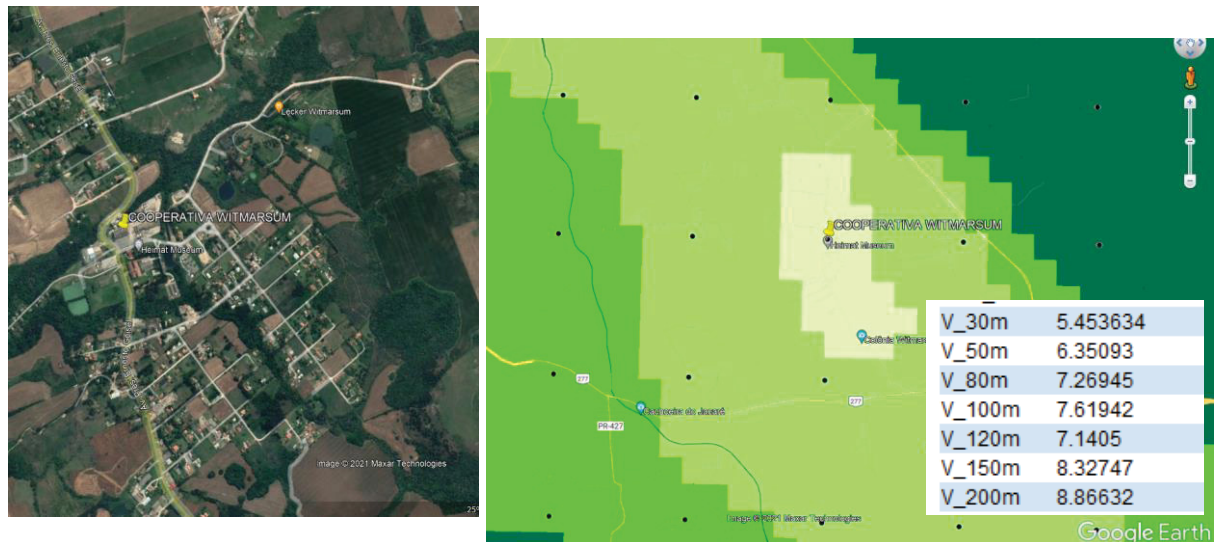
A análise do retorno financeiro tem como premissa um aumento de 5% ao ano no valor da energia elétrica e um aumento de 5% ao ano no valor da saca de soja.

4 RESULTADOS

4.1 PARÂMETROS DE VENTO

Os resultados das velocidades obtidas para as alturas estudadas estão descritos na FIGURA 8.

FIGURA 8 - VENTOS POR FAIXA DE ALTURA

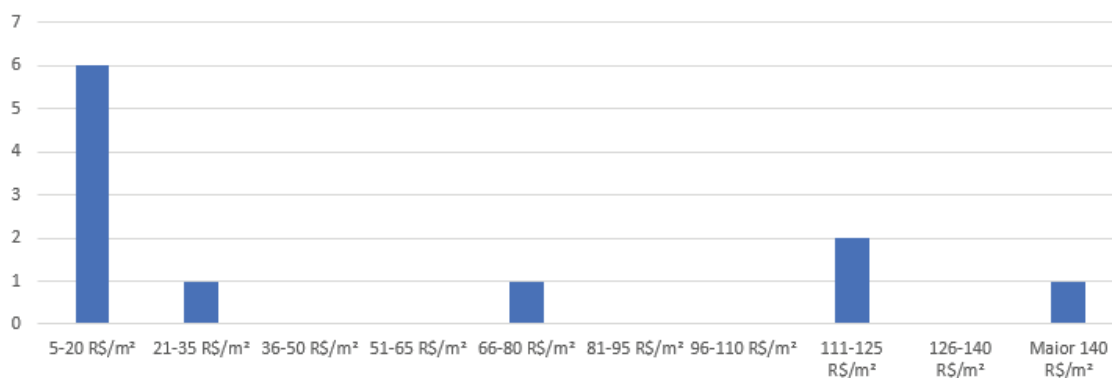


FONTE: Autor (2021)

4.2 O LOCAL DE INSTALAÇÃO

O GRÁFICO 1 mostra a análise dos valores dos terrenos. Dos 11 terrenos analisados seis apresentaram valores entre 5 e 20 R\$/m², assim para efeito de cálculo considerou-se o valor de 20 R\$/m².

GRÁFICO 1 - AMOSTRA POR FAIXA DE CUSTO DO TERRENO



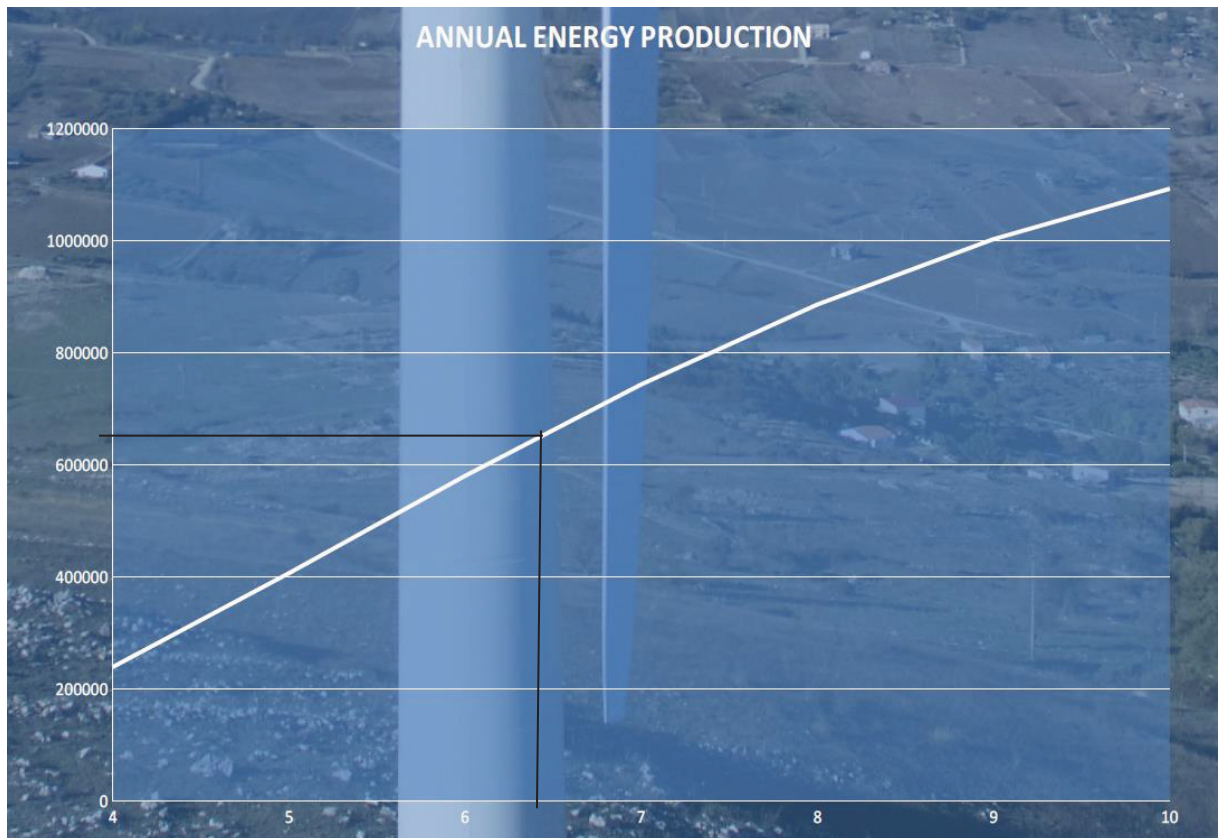
FONTE: Autor (2021)

O local escolhido para o estudo é a cooperativa de Witmarsun, localizada em Palmeira no Paraná. O município possui potencial para geração de energia eólica além possuir diversas propriedades rurais de alta produção.

4.3 PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA EÓLICA

Conforme a FIGURA 9, o fabricante do aerogerador especifica geração de aproximadamente 650MWh quando o aerogerador é exposto a ventos médio anuais de aproximadamente 6,35m/s.

FIGURA 9 - PRODUÇÃO DE ENERGIA ANUAL



FONTE: Ren Electron (2021).

4.4 ANÁLISE DO CENÁRIO

4.4.1 GERAÇÃO EÓLICA

A TABELA 1 resume os principais parâmetros envolvidos na produção eólica:

TABELA 1 - GERAÇÃO EÓLICA

| Dados Geração Eólico 50m | |
|---------------------------------|-------------|
| Potência Instalada e Demanda | 250kW |
| Quantidade | 1 |
| Fator de Capacidade | 30% |
| 1 Turbina Eólica de 250 kW | 75,23 kWh |
| Energia Mensal | 54.166 kWh |
| Energia Anual | 650.000 kWh |

FONTE: Autor (2021)

Os custos considerados para análise e *payback* são: custo de aquisição dos equipamentos, da obra civil, da instalação, do terreno (100 m²) e o custo da não utilização do terreno para o plantio. Assim tem-se os seguintes resultados para solução eólica 50 m. As TABELA 2 e 3 mostram os custos relativos à produção eólica.

TABELA 2 - CUSTOS REAIS/M²

| R\$/m ² | Valor de m ² | Quant. de amostras | Custo Terreno Solução Eólica |
|--------------------|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| 20 | 5-20 R\$/m ² | 6 | 2.000,00 |
| 35 | 20-35 R\$/m ² | 1 | 3.500,00 |
| 80 | 65-80 R\$/m ² | 1 | 8.000,00 |
| 125 | 110-125 R\$/m ² | 2 | 12.500,00 |
| 155 | Maior 140 R\$/m ² | 1 | 15.500,00 |

FONTE: Autor (2021)

TABELA 3 - CUSTOS INSTALAÇÃO

| Descrição | Custo Total |
|---------------------------|---------------------|
| Aquisição de Equipamentos | 3.040.000,00 |
| Instalação | 175.000,00 |
| Custo do terreno | 2.000,00 |
| Total | 3.217.000,00 |

FONTE: Autor (2021)

Para sustentar o aerogerador a 50 m de altura a torre possui um diâmetro aproximado de 2,5 m. A área considerada de recuo da torre é de um quadrado com

10 m de lado totalizando uma área de 100 m² por torre. Essa é a área impactada pela solução eólica que deverá ser livre de plantio.

Considerando o Conab (2021), 100m² produziram aproximadamente uma saca de soja por ano, resultando em uma perda anual de R\$172,70.

4.5 O CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA

A Figura 10 mostra o *dashboard* de tarifas da Copel, o valor total da tarifa A4 e considerando o consumo em horário fora de pico é de R\$ 0,51/kWh e o valor da demanda é de R\$25,40 por kWh

FIGURA 10 - TARIFA COPEL

Tarifas aplicadas ao grupo A

| Escolha sua tarifa | | Fora de Ponta | | |
|----------------------|-----|---------------|---------------|----------------|
| Grupo tarifário | | Demanda | Consumo | |
| A1 | A3a | Sem Imposto | 17,07 | 0,27536 |
| A2 | A4 | | TUSD (R\$/kW) | TE (R\$/kWh) |
| A3 | A5 | Com Imposto | 25,40 | 0,40976 |
| | | | TUSD (R\$/kW) | TE (R\$/kWh) |
| | | | | 0,12292 |
| | | | | TUSD (R\$/kWh) |
| Modalidade tarifária | | | | |
| Verde | | | | |

FONTE: Copel (2021)

4.6 ANÁLISE FINANCEIRA

Considerando as premissas acima, um reajuste anual de 5% para o valor da energia elétrica e um reajuste anual de 5% para o valor de venda da soja, tem-se o fluxo de caixa da operação demonstrado pela TABELA 4:

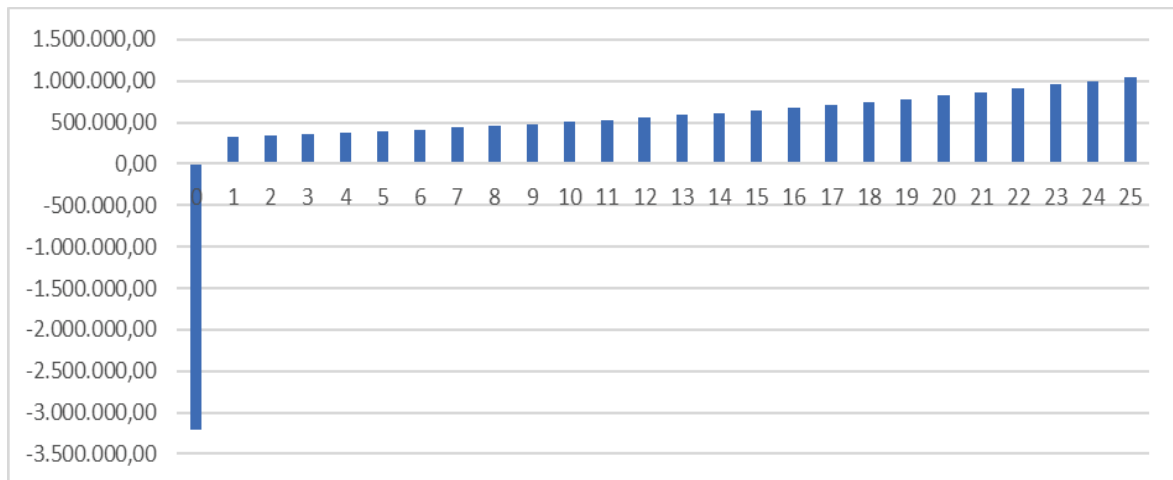
TABELA 4 - FLUXO DE CAIXA

| Anos | Energia | Demanda | Colheita | Fluxo de Caixa | Saldo |
|------|--------------|------------|----------|----------------|---------------|
| 0 | | | | -3.217.000,00 | -3.217.000,00 |
| 1 | 332.833,80 | -6.350,00 | -172,00 | 326.311,80 | -2.890.688,20 |
| 2 | 349.475,49 | -6.667,50 | -180,60 | 342.627,39 | -2.548.060,81 |
| 3 | 366.949,26 | -7.000,88 | -189,63 | 359.758,76 | -2.188.302,05 |
| 4 | 385.296,73 | -7.350,92 | -199,11 | 377.746,70 | -1.810.555,35 |
| 5 | 404.561,56 | -7.718,46 | -209,07 | 396.634,03 | -1.413.921,32 |
| 6 | 424.789,64 | -8.104,39 | -219,52 | 416.465,73 | -997.455,59 |
| 7 | 446.029,12 | -8.509,61 | -230,50 | 437.289,02 | -560.166,57 |
| 8 | 468.330,58 | -8.935,09 | -242,02 | 459.153,47 | -101.013,09 |
| 9 | 491.747,11 | -9.381,84 | -254,12 | 482.111,15 | 381.098,05 |
| 10 | 516.334,47 | -9.850,93 | -266,83 | 506.216,70 | 887.314,75 |
| 11 | 542.151,19 | -10.343,48 | -280,17 | 531.527,54 | 1.418.842,29 |
| 12 | 569.258,75 | -10.860,65 | -294,18 | 558.103,91 | 1.976.946,21 |
| 13 | 597.721,69 | -11.403,69 | -308,89 | 586.009,11 | 2.562.955,32 |
| 14 | 627.607,77 | -11.973,87 | -324,33 | 615.309,57 | 3.178.264,88 |
| 15 | 658.988,16 | -12.572,57 | -340,55 | 646.075,04 | 3.824.339,93 |
| 16 | 691.937,57 | -13.201,19 | -357,58 | 678.378,80 | 4.502.718,72 |
| 17 | 726.534,44 | -13.861,25 | -375,45 | 712.297,74 | 5.215.016,46 |
| 18 | 762.861,17 | -14.554,32 | -394,23 | 747.912,62 | 5.962.929,08 |
| 19 | 801.004,22 | -15.282,03 | -413,94 | 785.308,25 | 6.748.237,34 |
| 20 | 841.054,44 | -16.046,13 | -434,64 | 824.573,67 | 7.572.811,00 |
| 21 | 883.107,16 | -16.848,44 | -456,37 | 865.802,35 | 8.438.613,35 |
| 22 | 927.262,52 | -17.690,86 | -479,19 | 909.092,47 | 9.347.705,82 |
| 23 | 973.625,64 | -18.575,41 | -503,14 | 954.547,09 | 10.302.252,91 |
| 24 | 1.022.306,92 | -19.504,18 | -528,30 | 1.002.274,45 | 11.304.527,36 |
| 25 | 1.073.422,27 | -20.479,38 | -554,72 | 1.052.388,17 | 12.356.915,52 |

FONTE: Autor (2021)

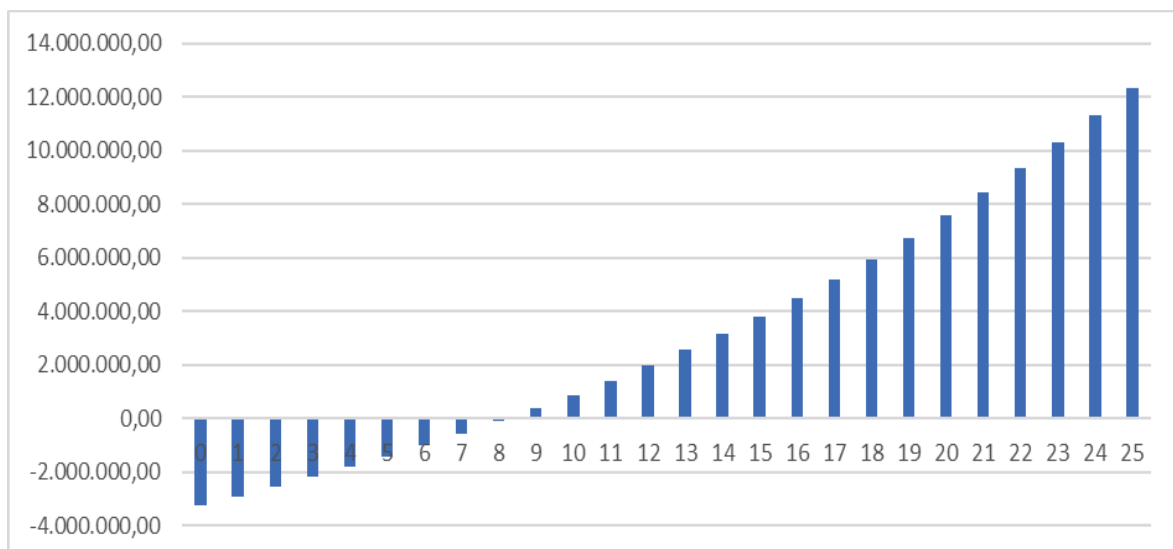
Assim sendo, após 25 anos, o tempo médio de vida útil de um gerador eólico, com um investimento inicial de R\$ 3.217.000,00 o projeto entrega uma economia de energia de R\$ 15.885191,66. Considerando uma perda de eficiência do terreno (por não venda de soja) de R\$8.209,06, o projeto resultou em um fluxo de caixa positivo (GRÁFICO 2) de R\$ 12.356.915,52. Obteve-se uma taxa de retorno de investimento TIR de 13,78% com o *payback* (GRÁFICO 3) ocorrendo no oitavo ano de operação.

GRÁFICO 2 - FLUXO DE CAIXA EÓLICO 50m



FONTE: Autor (2021)

GRÁFICO 3 - REMUNERAÇÃO EÓLICO 50m



FONTE: Autor (2021)

4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

4.7.1 EÓLICA COM 80m

Utilizando os mesmos critérios ambientais, porém alterando a altura do aerogerador de 50m para 80m, e, adotando a instalação dos equipamentos em

terrenos com o maior valor encontrado na pesquisa (140,00 R\$/m²), chega-se aos resultados demonstrados nas TABELAS 5, 6 E 7.

TABELA 5 - GERAÇÃO EÓLICA 80m

| Dados Eólicos 80m | |
|------------------------------|---------|
| Potência Instalada e Demanda | 250kW |
| Quantidade | 1 |
| Fator de Capacidade | 37% |
| Vento Médio | 7,27m/s |
| 1 turbina Eólica de 250 kW | 91,44 |
| Energia Mensal | 65.833 |
| Energia Anual | 790.000 |

FONTE: Autor (2021)

TABELA 6 - CUSTO INSTALAÇÃO AEROGERADOR 80m

| Descrição | Custo Total |
|---------------------------|--------------|
| Aquisição de Equipamentos | 3.529.000,00 |
| Instalação | 260.000,00 |
| Custo do terreno | 14.000,00 |
| Total | 3.803.000,00 |

FONTE: Autor (2021)

Dessa forma tem-se o novo fluxo de caixa conforme TABELA 7.

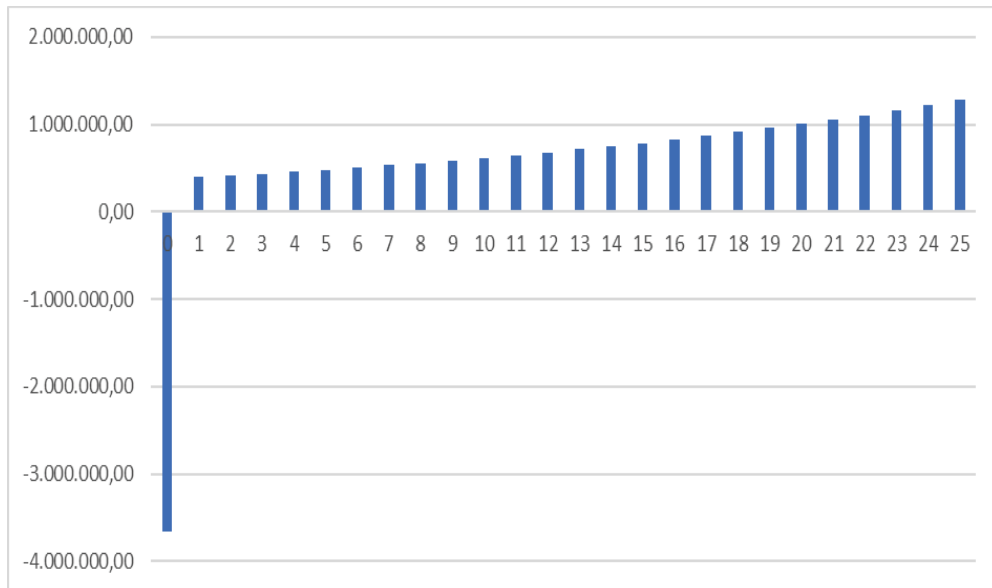
TABELA 7 - FLUXO DE CAIXA EÓLICA A 80m

| Anos | Energia | Demanda | Colheita | Fluxo de Caixa | Saldo |
|------|--------------|------------|----------|----------------|---------------|
| 0 | | | | -3.661.000,00 | -3.661.000,00 |
| 1 | 404.521,08 | -6.350,00 | -172,00 | 397.999,08 | -3.263.000,92 |
| 2 | 424.747,13 | -6.667,50 | -180,60 | 417.899,03 | -2.845.101,89 |
| 3 | 445.984,49 | -7.000,88 | -189,63 | 438.793,99 | -2.406.307,90 |
| 4 | 468.283,72 | -7.350,92 | -199,11 | 460.733,68 | -1.945.574,22 |
| 5 | 491.697,90 | -7.718,46 | -209,07 | 483.770,37 | -1.461.803,85 |
| 6 | 516.282,80 | -8.104,39 | -219,52 | 507.958,89 | -953.844,96 |
| 7 | 542.096,94 | -8.509,61 | -230,50 | 533.356,83 | -420.488,13 |
| 8 | 569.201,78 | -8.935,09 | -242,02 | 560.024,67 | 139.536,55 |
| 9 | 597.661,87 | -9.381,84 | -254,12 | 588.025,91 | 727.562,45 |
| 10 | 627.544,97 | -9.850,93 | -266,83 | 617.427,20 | 1.344.989,66 |
| 11 | 658.922,21 | -10.343,48 | -280,17 | 648.298,56 | 1.993.288,22 |
| 12 | 691.868,32 | -10.860,65 | -294,18 | 680.713,49 | 2.674.001,71 |
| 13 | 726.461,74 | -11.403,69 | -308,89 | 714.749,17 | 3.388.750,88 |
| 14 | 762.784,83 | -11.973,87 | -324,33 | 750.486,62 | 4.139.237,50 |
| 15 | 800.924,07 | -12.572,57 | -340,55 | 788.010,96 | 4.927.248,46 |
| 16 | 840.970,27 | -13.201,19 | -357,58 | 827.411,50 | 5.754.659,96 |
| 17 | 883.018,79 | -13.861,25 | -375,45 | 868.782,08 | 6.623.442,04 |
| 18 | 927.169,73 | -14.554,32 | -394,23 | 912.221,18 | 7.535.663,22 |
| 19 | 973.528,21 | -15.282,03 | -413,94 | 957.832,24 | 8.493.495,46 |
| 20 | 1.022.204,62 | -16.046,13 | -434,64 | 1.005.723,85 | 9.499.219,31 |
| 21 | 1.073.314,85 | -16.848,44 | -456,37 | 1.056.010,05 | 10.555.229,36 |
| 22 | 1.126.980,60 | -17.690,86 | -479,19 | 1.108.810,55 | 11.664.039,91 |
| 23 | 1.183.329,63 | -18.575,41 | -503,14 | 1.164.251,08 | 12.828.290,98 |
| 24 | 1.242.496,11 | -19.504,18 | -528,30 | 1.222.463,63 | 14.050.754,61 |
| 25 | 1.304.620,91 | -20.479,38 | -554,72 | 1.283.586,81 | 15.334.341,42 |

FONTE: Autor (2021)

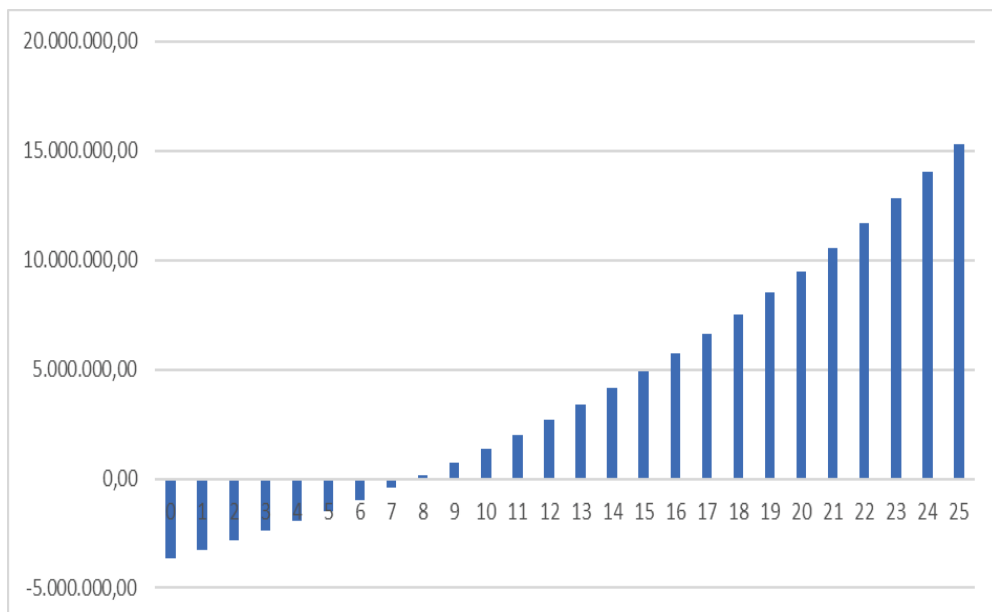
Assim sendo, após 25 anos, com um investimento inicial de R\$ 3.661.000,00 o projeto entrega uma economia de energia de R\$ 19.306.617,56. Considerando uma perda de eficiência do terreno (por não venda de soja) de R\$8.209,06, o projeto resultou em um fluxo de caixa positivo (GRÁFICO 4) de R\$ 15.334.341,42. Obteve-se uma taxa de retorno de investimento TIR de 14,67% com o *payback* (GRÁFICO 5) ocorrendo no oitavo ano de operação.

GRAFICO 4 – FLUXO DE CAIXA EÓLICA 80m



FONTE: Autor (2021)

GRÁFICO 5 - REMUNERAÇÃO EÓLICA 80m



FONTE: Autor (2021)

4.7.2 PRODUÇÃO ANUAL DE ENERGIA SOLAR

Com intuito de gerar os mesmos 790 MWh ano utilizando energia solar são necessários 1571 painéis da Canadian Hiku CW3A-400 de 400Wp.

A TABELA 8 informa as características técnicas do painel, radiação média em Witmarsun, valores de potência instalada e área necessária para instalação da usina fotovoltaica.

TABELA 8 – DADOS DE GERAÇÃO SOLAR.

| Dados Solares | | |
|---------------------------------------------|--------------|--------------------------|
| Potência por painel | 0,40 | kWp |
| Rendimento do painel | 0,80 | |
| Radiação diária média em Witmarsun | 4,31 | kW.h/m ² .dia |
| Área de 1 painel | 2,21 | m ² |
| Energia 1 Painel em Witmarsun | 1,38 | kWh |
| Nº dias /mês | 30,40 | |
| Energia de 1 painel no mês | 41,93 | kWh |
| Energia de 1 painel em 1 ano | 503,13 | kWh |
| Energia ANUAL (kWh/ano) DESEJADA | 790.000 | kWh |
| Nº Painéis Necessários | 1571 | unidades |
| Potência instalada e Demanda | 628,4 | kWp |
| Área Necessária Painéis | 3.471,00 | m ² |
| Área Necessária Painéis + acesso + proteção | 5.682,80 | m ² |
| Custo implantação Solar | 4.000,00 | R\$/kWp |
| Custo implantação do projeto | 2.513.600,00 | Reais |

FONTE: Autor (2021)

A área total para instalação dos 1571 painéis é de aproximadamente 5.682,80 m², considerando também as ruas de acessos aos painéis e um recuo de margem no terreno.

A TABELA 9 leva em conta os valores referentes a usina fotovoltaica e o custo do terreno, totalizando assim o montante necessário para início da operação da planta.

TABELA 9 - CUSTO INSTALAÇÃO PLANTA SOLAR

| | |
|--------------------|--------------|
| Usina fotovoltaica | 2.513.600,00 |
| Terreno | 795.592,52 |
| Investimento Total | 3.309.192,52 |

FONTE: Autor (2021)

Desta maneira apresenta-se o fluxo de caixa e saldo de pagamentos conforme TABELA 10:

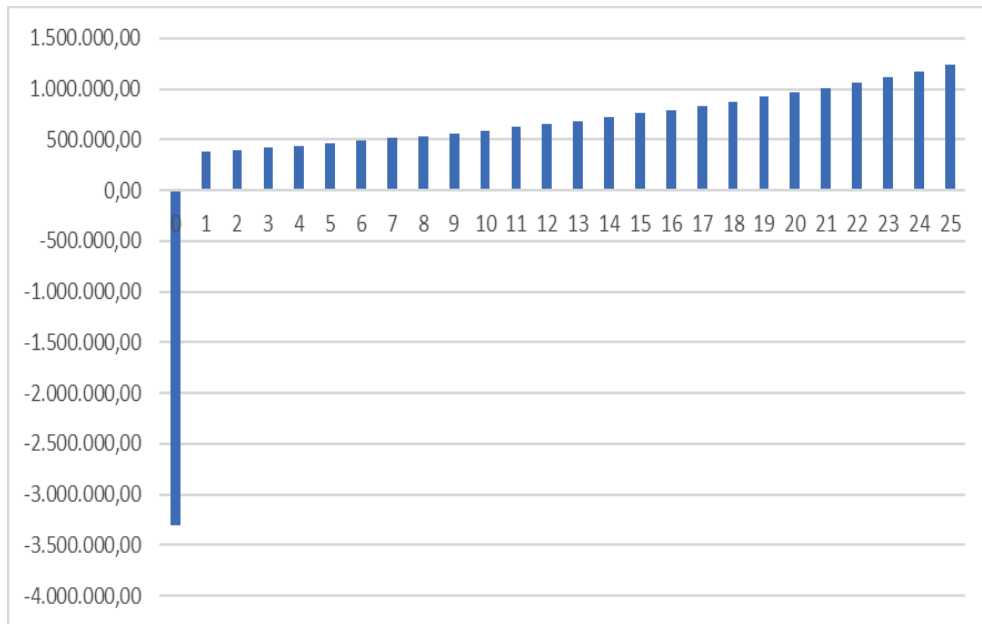
TABELA 10 – FLUXO DE CAIXA FOTOVOLTAICO

| Anos | Energia | Demanda | Colheita | Fluxo de Caixa | Saldo |
|------|--------------|------------|------------|----------------|---------------|
| 0 | | | | -3.309.192,52 | -3.309.192,52 |
| 1 | 404.521,08 | -15.961,36 | -6.020,00 | 382.539,72 | -2.926.652,80 |
| 2 | 424.747,13 | -16.759,43 | -6.321,00 | 401.666,71 | -2.524.986,10 |
| 3 | 445.984,49 | -17.597,40 | -6.637,05 | 421.750,04 | -2.103.236,06 |
| 4 | 468.283,72 | -18.477,27 | -6.968,90 | 442.837,54 | -1.660.398,51 |
| 5 | 491.697,90 | -19.401,13 | -7.317,35 | 464.979,42 | -1.195.419,09 |
| 6 | 516.282,80 | -20.371,19 | -7.683,22 | 488.228,39 | -707.190,70 |
| 7 | 542.096,94 | -21.389,75 | -8.067,38 | 512.639,81 | -194.550,89 |
| 8 | 569.201,78 | -22.459,24 | -8.470,74 | 538.271,80 | 343.720,91 |
| 9 | 597.661,87 | -23.582,20 | -8.894,28 | 565.185,39 | 908.906,30 |
| 10 | 627.544,97 | -24.761,31 | -9.339,00 | 593.444,66 | 1.502.350,96 |
| 11 | 658.922,21 | -25.999,37 | -9.805,95 | 623.116,89 | 2.125.467,86 |
| 12 | 691.868,32 | -27.299,34 | -10.296,24 | 654.272,74 | 2.779.740,60 |
| 13 | 726.461,74 | -28.664,31 | -10.811,06 | 686.986,38 | 3.466.726,97 |
| 14 | 762.784,83 | -30.097,52 | -11.351,61 | 721.335,69 | 4.188.062,67 |
| 15 | 800.924,07 | -31.602,40 | -11.919,19 | 757.402,48 | 4.945.465,15 |
| 16 | 840.970,27 | -33.182,52 | -12.515,15 | 795.272,60 | 5.740.737,75 |
| 17 | 883.018,79 | -34.841,65 | -13.140,91 | 835.036,23 | 6.575.773,99 |
| 18 | 927.169,73 | -36.583,73 | -13.797,95 | 876.788,05 | 7.452.562,03 |
| 19 | 973.528,21 | -38.412,92 | -14.487,85 | 920.627,45 | 8.373.189,48 |
| 20 | 1.022.204,62 | -40.333,56 | -15.212,24 | 966.658,82 | 9.339.848,30 |
| 21 | 1.073.314,85 | -42.350,24 | -15.972,85 | 1.014.991,76 | 10.354.840,06 |
| 22 | 1.126.980,60 | -44.467,75 | -16.771,49 | 1.065.741,35 | 11.420.581,41 |
| 23 | 1.183.329,63 | -46.691,14 | -17.610,07 | 1.119.028,42 | 12.539.609,83 |
| 24 | 1.242.496,11 | -49.025,70 | -18.490,57 | 1.174.979,84 | 13.714.589,66 |
| 25 | 1.304.620,91 | -51.476,98 | -19.415,10 | 1.233.728,83 | 14.948.318,49 |

FONTE: Autor (2021)

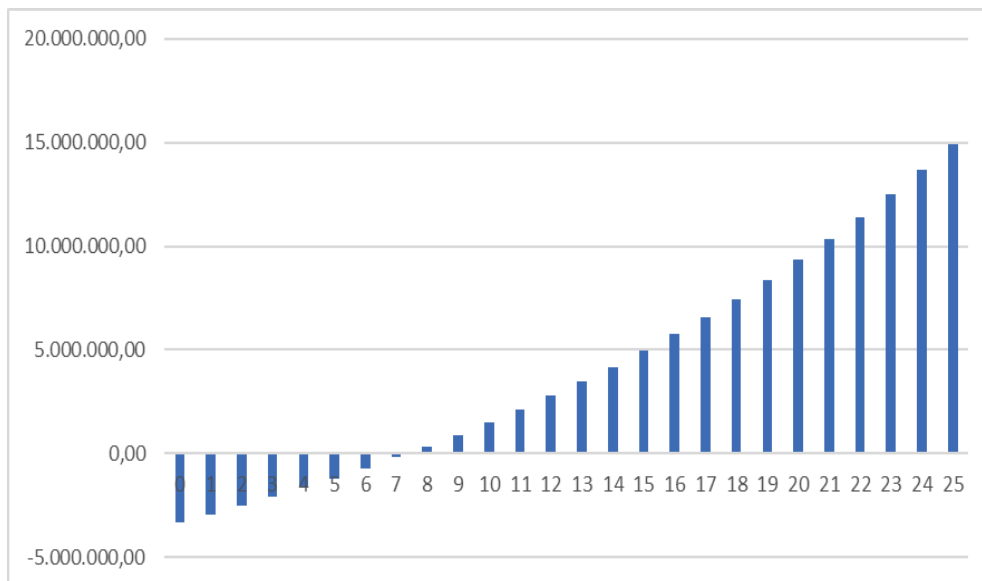
Assim sendo, após 25 anos, com um investimento inicial de R\$ 3.309.192,52 o projeto entrega uma economia de energia de R\$ 19.306.617,56. Considerando uma perda de eficiência do terreno (por não venda de soja) de R\$287.317,15, o projeto resultou em um fluxo de caixa positivo (GRÁFICO 4) de R\$ 14.948.318,49. Obteve-se uma taxa de retorno de investimento TIR de 13,46% e o *payback* (GRÁFICO 5) ocorre no oitavo ano de operação.

GRÁFICO 6 - FLUXO DE CAIXA FOTOVOTAICO



FONTE: Autor (2021)

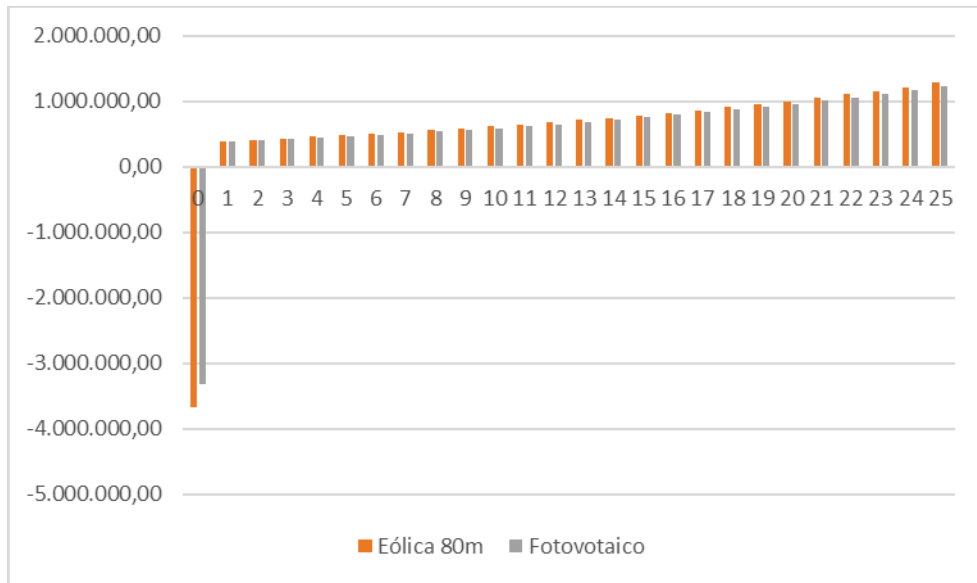
GRÁFICO 7 - REMUNERAÇÃO FOTOVOTAICO



FONTE: Autor (2021)

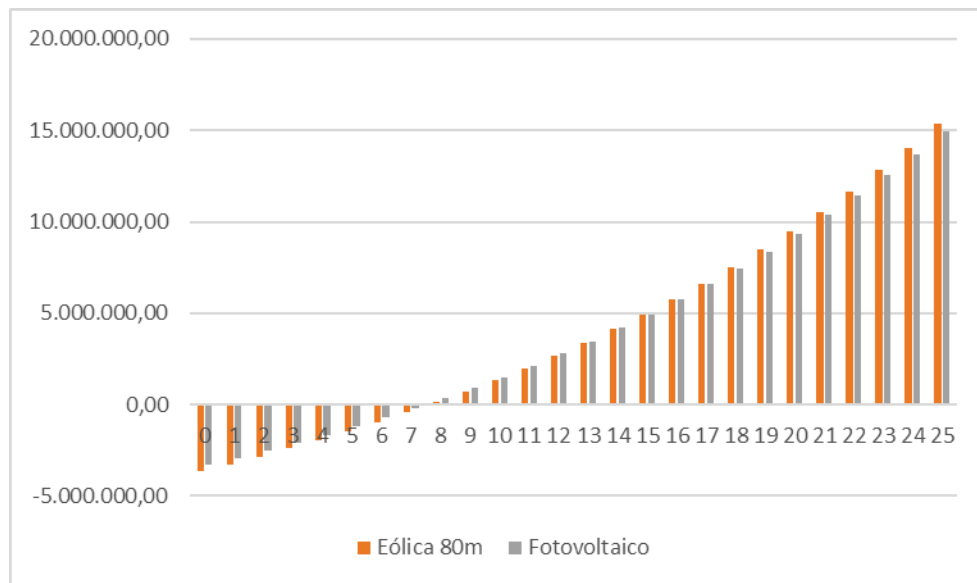
Quando comparado os dois projetos, eólico e solar, observa-se performance favorável a solução eólica que apresentou melhor geração de fluxo de caixa (GRÁFICO 8) e, também melhor saldo de caixa em 25 anos (GRAFICO 9).

GRÁFICO 8 - FLUXO DE CAIXA EÓLICA 80m X FOTOVOTAICO



FONTE: Autor (2021)

GRAFICO 9 – COMPARAÇÃO DE REMUNERAÇÃO DOS PROJETOS



FONTE: Autor (2021)

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Verificou-se que a solução eólica, utilizada na geração distribuída, é um projeto viável. As análises de retorno financeiro, através de *payback* simples, retornaram nos prazos de oito anos para o gerador eólico posicionado a 50 m e também de oito anos para o gerador a 80 m, considerados suficientes para esse tipo de projeto.

Quando comparado com a usina fotovoltaica, líder de mercado, o custo do terreno causou um grande impacto no investimento inicial, sendo responsável por 24% do custo do projeto. O custo de não produção da soja impacta negativamente o fluxo de caixa em aproximadamente 1,1% e o valor pago pela demanda é 151% maior quando comparado a solução eólica. Com essas condições a usina eólica apresentou resultado mais competitivos do que a usina fotovoltaica.

Ressalta-se que hoje a tecnologia de geração fotovoltaica encontra-se totalmente disponível para comercialização. As informações necessárias para elaborações de projetos, assim como os custos de implantação da usina são disponibilizados de maneira abundante no mercado.

A situação é totalmente diferente quando se trata de tecnologia eólica que, apesar de estar estabelecida, as informações necessárias para o desenvolvimento de projetos na geração distribuída e aquisição de equipamentos são escassas e de difícil acesso.

Acredita-se que o acesso a essas informações é o principal diferencial na escolha de qual tecnologia adotar e o motivo pelo qual a tecnologia fotovoltaica domina o mercado.

Em termos de retorno e de capacidade de geração, novos estudos devem ser realizados a fim de validar projetos de maior potência, onde acredita-se que os impactos causados pelos custos latifundiários e produtividade agrícola serão ainda mais impactantes na análise de retornos de investimentos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Resolução normativa nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília, 2016

ALANNE, K. AND SAARI, A. Distributed energy generation and sustainable. 21f. Laboratory of Construction Economics and Management, Department of Civil and Environmental Engineering, Helsinki University of Technology, 2004

CEPEL, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 1ª edição, 2013. Disponível em <http://www.observatoriodaenergiaeolica.ufc.br/wp-content/uploads/2019/07/NovoAtlasdoPotencialEolico_BrasileiroSIM_2013-compressed.pdf>. Acesso em: 20 de maio 2021.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA (CRESESB), Irradiação Solar Município de Palmeira. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 27 de outubro 2021.

CONAB, Calendário de plantio e colheita de grãos no brasil 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/7694-calendario-agricola-plantio-e-colheita>>. Acesso em: 25 de novembro de 2021.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA), PIB do agronegócio. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em 04 de julho de 2021.

GONZÁLES, J.S.; ARÁNTEGUI, R.L. Technological evolution of onshore wind turbines—a market-based analysis. 17f. Institute for Energy and Transport, Westerduinweg, Netherlands, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Balanço Energético Nacional (BEN). 2021.

FAO BRASIL, Brasil será um dos maiores exportadores de alimentos. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/436508/>. Acesso em 11 de novembro 2021.

FARMNEWS, Disponível em: <https://www.farmnews.com.br/mercado/producao-mundial-de-soja-5/>. Acesso em 05 de janeiro de 2022.

KEANE, A. Integration of Distributed Generation. 118f. School of Electrical, Tese (Doutorado) Electronic & Mechanical Engineering, University College Dublin, 2007.

INPE, Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª edição, 2017. Disponível em <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). IEC6140-1:2019 – Wind energy generation systems, Geneva, Seitzerland, 2019.

LEITE, A.; BORGES, C.; FALCÃO, D. Modelagem de Usinas Eólicas Para Estudos de Confiabilidade. Revista Controle & Automação/Vol.17 no.2/Abril, p.177-188 Maio e Junho 2006.

PINTO, MILTON DE OLIVEIRA, Fundamentos de energia eólica. Rio de Janeiro: LTC,2013.

PORTAL SOLAR, Geração distribuída de energia, Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>>; Acesso em 10 de janeiro de 2022.

REN ELECTRON, Ren wind 250. Disponível em: <<https://www.renelectron.com/>>. Acesso em: 05 de junho 2021.

REISSER JÚNIOR, C. [ET AL.] . Geração distribuída de energia elétrica no meio rural familiar Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2019. 16 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1678-2518; 319).

SILVA S.R., Tecnologia em Aerogeradores, Belo Horizonte, 2013. Apostila.